



Bakalářská práce

Polarizační přístroj pro automatickou detekci napětí ve výrobcích ze skla

Studijní program:

B0715A270008 Strojírenství

Autor práce:

Petr Valenta

Vedoucí práce:

doc. Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.

Katedra sklářských strojů a robotiky

Konzultant práce:

Ing. Ondřej Matúšek, Ph.D.

Katedra sklářských strojů a robotiky

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Polarizační přístroj pro automatickou detekci napětí ve výrobcích ze skla

<i>Jméno a příjmení:</i>	Petr Valenta
<i>Osobní číslo:</i>	S20000127
<i>Studijní program:</i>	B0715A270008 Strojírenství
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra sklářských strojů a robotiky
<i>Akademický rok:</i>	2022/2023

Zásady pro vypracování:

Polarizační přístroje jsou široce používány ve sklářském průmyslu pro detekci napětí uvnitř skla. Díky fyzikálním zákonům je napětí ve skle viditelné při vhodném použití polarizačních filtrů. Kontrola napětí je důležitá pro zajištění dobrých mechanických vlastností výrobků ze skla. V současné době je nejčastěji používáno ručních polarizačních přístrojů, které využívají lidských očí pro zjištění vysokého napětí ve skle. To je limitem jak pro správnou a objektivní kontrolu a také v počtu takto provedených testů.

Cílem práce je zmapovat současné technologie automatických polarizačních přístrojů, které využívají kamerové systémy, zjistit jejich flexibilitu a možnosti nastavení na automatických linkách. Následně navrhnout pracoviště pro zadaný objekt ze skla pro kontrolu jeho napětí ve skle. Přitom specifikovat konstrukční upořádání, použitou kameru, specifikovat osvětlení a polarizační filtry. Provést cenovou kalkulaci. Vývoj software pro určení napětí ve skle není součástí zadání.

Úkolem Vaší BP bude:

1. Seznámit se s problematikou funkce a uspořádání polarizačních přístrojů, provést rešerši současného stavu na trhu s automatickou kontrolou napětí ve výrobcích ze skla.
2. Pro vybraný výrobek provést konstrukční řešení automatického polariskopu, specifikaci polarizačních filtrů, osvětlení a kamery.
3. Zhodnotit přínos předloženého řešení včetně ekonomického zhodnocení.

Rozsah grafických prací: výkresová dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30 – 40 stran textu
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

1. HOTAŘ V. *Úvod do problematiky strojového vidění, část 1, Základní principy a hardware.* Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, 132 s.
2. HOTAŘ V. *Úvod do problematiky strojového vidění, část 2, Základy zpracování obrazu.* Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, 114 s.
3. HOTAŘ V., V. KLEBSA a I. MATOUŠEK. *Technologie automatické výroby skla.* Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, 318 s.
4. Podklady na internetu: text, obrázky, video
Např.:
<https://www.ilis.de/en/strainscope.html>
https://www.luceo.jp/technical_taxonomy/polariscope/
<https://www.ioc.ee/tech2000/epolar.html>

Vedoucí práce: doc. Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.
Katedra sklářských strojů a robotiky

Konzultant práce: Ing. Ondřej Matúšek, Ph.D.
Katedra sklářských strojů a robotiky

Datum zadání práce: 4. listopadu 2022

Předpokládaný termín odevzdání: 4. května 2024

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 4. listopadu 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Název

Polarizační přístroj pro automatickou detekci napětí ve výrobcích ze skla

Anotace

Bakalářská práce se zaměřuje na návrh a konstrukci polariskopu. Polariskop je zařízení sloužící ke snímání napětí ve skle, pomocí lineární či kruhové polarizace světla. V práci je popsáno jak napětí vzniká a pomocí jakých fyzikálních jevů jej lze identifikovat. Dále je navržena konstrukce polariskopu, který je schopen snímat napětí u skleněných předmětů ze všech stran.

Klíčová slova

polariskop, polarizace světla, napětí ve skle, kamera

Title

Polarization device for the automatic detection of tension in glass products

Annotation

This bachelor thesis focuses on the design of a polariscope. A polariscope is a device used to measure tension in glass, using either linear or circular polarization of light. This thesis describes how tension is created and which physical phenomena can be used to identify it. Furthermore, a polariscope construction is designed, with the ability to measure tension of glass objects from all sides.

Key words

polariscope, polarization of light, tension in glass, camera

Poděkování

Velmi rád bych poděkoval doc. Ing. Vlastimilovi Hotařovi, Ph.D. za vedení při tvorbě mé bakalářské práce. Za konzultace při tvorbě samotné konstrukce a následné výkresové dokumentace bych rád poděkoval Ing. Michalovi Starému, Ph.D.

Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mě v mém dosavadním studiu podporovali a motivovali. Nejvíce si cením podpory celé mé rodiny a přítelkyně.

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Polariskop.....	10
2.1. Polarizace světla.....	11
2.2. Dvojlom světla.....	13
2.3. Konstrukce polariskopu.....	14
2.4. Manuální polariskop.....	16
2.4.1. Části polarimetru.....	17
2.5. Rešerše současného stavu poznání.....	18
3. Návrh a konstrukční řešení polariskopu.....	19
3.1. Specifikace měřeného objektu.....	19
3.2. Návrh možných variant.....	20
3.2.1. První konstrukční varianta.....	20
3.2.2. Druhá konstrukční varianta.....	21
3.2.3. Třetí konstrukční varianta.....	21
3.2.4. Čtvrtá konstrukční varianta.....	22
3.3. Výběr vhodné varianty dle kritérií.....	23
3.4. Konstrukční provedení vybrané varianty.....	25
3.5. Specifikace dílů.....	28
3.5.1. Kamera a objektiv.....	28
3.5.2. Podkladové sklo.....	29
3.5.3. Krokový motor.....	29
3.5.4. Aretační ústrojí.....	31
3.5.5. Světelná deska.....	32
4. Závěr.....	33
4.1. Ekonomické zhodnocení.....	33
4.2. Přínosy navrženého řešení.....	34
5. Seznam výkresové dokumentace.....	36

1 Úvod

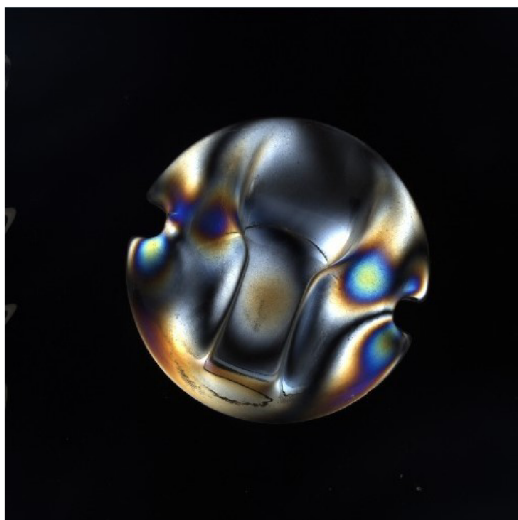
Tématem této bakalářské práce je navržení variant konstrukce zařízení snímajícího napětí ve skleněných předmětech, tzv. polarizační přístroj a následného nalezení nevhodnější varianty pomocí metody párového srovnání, která bude zohledňovat cenu, flexibilitu snímání aj. Napětí může být přechodné či trvalé.

Zařízení bude pracovat na již známém a ověřeném principu dvojlomu polarizovaného světla v místě napětí. Polarizovaného světla se dosáhne pomocí polarizačních filtrů. Polariskop je složen ze dvou polarizačních filtrů, které mají rovinu polarizace na sebe kolmou. Tyto filtry se nazývají polarizátor a analyzátor.

Finální konstrukce by měla být schopna daný předmět nasnímat ze všech stran a automaticky vizualizovat na monitoru počítače barevné mapy s velikostí napětí v různých místech. Konstrukce by měla být jednoduchá na obsluhu. Na konci této bakalářské práce se zhodnotí ekonomičnost a technologičnost dané konstrukce.

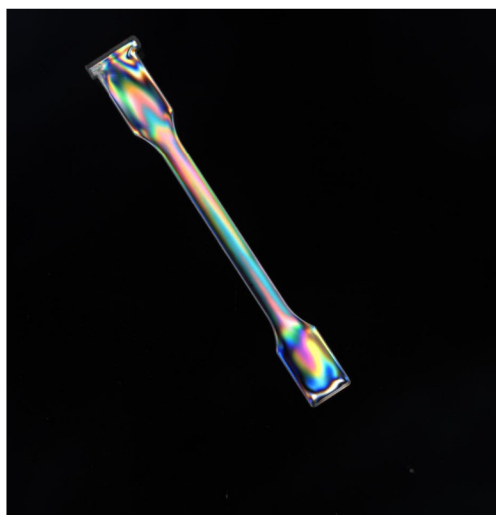
2 Polariskop

Polariskop je zařízení sloužící k detekci napětí a vad ve skle či jiných průhledných materiálech. Tato napětí mohou být trvalá nebo přechodná.



Obrázek 2.1: Trvalé napětí ve skleněném výrobku.

Když sklo chladne z vysokých teplot, tak viskozita skla je stále relativně malá. Sklo si sice drží svůj tvar, ale je stále umožněn viskózní tok, jedná se o viskozity v rozsahu tzv. chladícím intervalu (10 až 10 Pa.s) tento viskózní tok umožňuje vyrovnat vznikající napětí mezi různě teplými vrstvami výrobku, tedy tam, kde je teplotní gradient. Dochází tak ke kompenzaci napětí ve skle při jeho chladnutí a při zachování teplotního gradientu nevznikne vnitřní napětí. Pokud ale dojde k vyrovnání teplot v celém objemu skla, zmizí teplotní gradient. Poté napětí, které bylo viskózním tokem vyvoláno, se projeví ve skle jako trvalé.



Obrázek 2.2: Trvalé napětí způsobené vstříkáním.

K tomuto stavu dochází i u plastových dílů, které jsou vstříkované. U této technologie zpracování plastů je roztavený plast vstříknut do temperované formy, začne rychle chladnout a dojde ke vzniku teplotního gradientu.

Přechodné napětí vzniká při mechanickém zatížení, avšak toto napětí se po ukončení působení síly ztrácí. Při přechodném napětí dochází pouze k elastické deformaci. Dále lze přechodné napětí způsobit dočasnou změnou teplot, avšak velmi závisí na rychlosti změny teploty tj. na velikosti teplotního gradientu. Pokud je rychlost ochlazování či ohřívání příliš vysoká, může dojít až k překonání meze pevnosti a poškození dílu.

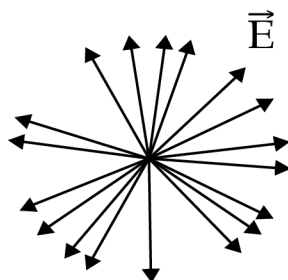


Obrázek 2.3: Přechodné napětí na zatížené skleněné tyčince

Přechodové i trvalé napětí v transparentních materiálech lze sledovat pomocí polarizačního přístroje nebo-li polariskopu, který využívá polarizované světlo k identifikaci těchto napětí.

2.1 Polarizace světla

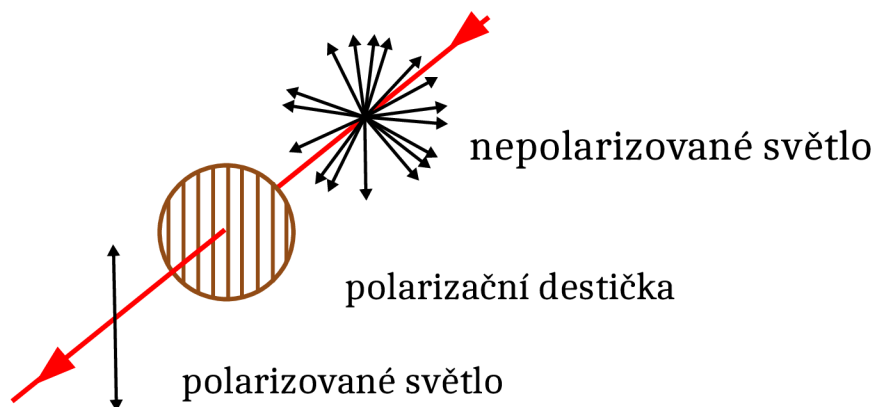
Světlo je elektromagnetické vlnění. Proto je složeno ze dvou složek, magnetické a elektrické. Magnetickou složku reprezentuje magnetická indukce a složku elektrickou reprezentuje elektrická intenzita. Vektory elektrické intenzity a magnetické indukce kmitají vždy ve směru kolmém ke směru šíření světla a jsou kolmé i sami na sebe, ale směr kmitání je nahodilý a často se střídá viz. Obrázek 2.1.1.



Obrázek 2.1.1: Elektrická intenzita nepolarizovaného světla (převzato z [1])

Vlnění, jehož složky kmitají v rovině kolmé na směr šíření, se nazývá příčné vlnění. Jelikož se jedná o příčné vlnění, můžeme se zaměřit pouze na složku elektrické intenzity. Pokud vektor elektrické intenzity kmitá do všech směrů, jedná se o nepolarizované světlo.

K lineární polarizaci dochází na tzv. polaroidech či polarizačních filtrech, ty se skládají z dlouhých molekul rozptýlených v umělé hmotě. Když světlo prochází takovým filtrem, tak projde jen složka elektrické intenzity, která je rovnoběžná s rovinou polarizace, ostatní složky jsou odstíněny. Taková polarizace se nazývá polarizace absorpcí. Princip absorpční polarizace je vyobrazen na Obrázku 2.1.2. [1]



Obrázek 2.1.2: Polarizace nepolarizovaného světla (převzato z [1])

Mezi další metody polarizace patří polarizace lomem, rozptylem či odrazem.

K polarizaci světla odrazem a lomem dochází při dopadu světla na rozhraní dvou opticky rozdílných prostředí. Světlo se po dopadu odráží pod stejným úhlem jako je úhel dopadu. Tento jev určuje zákon odrazu. Pokud však na rozhraní dopadá nepolarizované světlo, může pod určitým úhlem dojít k jeho lineární polarizaci. Stupeň polarizace závisí na úhlu dopadu.

Polarizace rozptylem je zapříčiněna přechodem světla z jednoho prostředí do druhého. K rozptylu dochází kvůli mnoho násobnému odrazu a lomu světla od molekul prostředí. Čím menší molekuly, tím větší rozptyl. Využívá se u matných neprůhledných skel. [2]

Kruhová či elipsová polarizace vzniká vlivem čtvrtvlnové destičky, ty zavádí fázový posuv řádného a mimořádného paprsku:

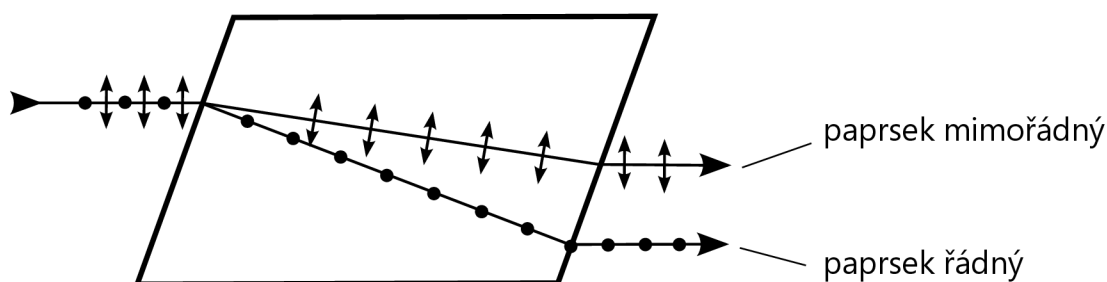
$$\Delta \varphi = \frac{\pi}{2} = 90^\circ = \frac{\lambda}{4} .$$

Ke kruhové polarizaci využíváme lineárně polarizované světlo, které dopadá na čtvrtvlnovou destičku pod úhlem 45° . Důvodem je, že při tomto úhlu jsou průměty amplitudy řádného i mimořádného paprsku stejné. [3]

2.2 Dvojlom světla

Důvodem, proč se používá polarizované světlo, je vlastnost skla, u kterého se hledají vady, touto vlastností je optická izotropie. Když je materiál opticky izotropní, jeho vlastnosti jsou ve všech směrech stejné, to znamená, že světlo při průchodu sklem nemění svůj směr, rychlost, ani směr polarizace. Pokud se ve skle vyskytuje nějaká anomálie, vada či napětí, sklo ztrácí vlastnost izotropie. Pokud materiál ztratí schopnost izotropie, stává se z něj materiál anizotropní.

Jestliže je sklo opticky anizotropní, objeví se u něj schopnost dvojlomu světla. Při dvojlomu dochází k rozdělení polarizovaného paprsku na dva paprsky, řádný a mimořádný. Mimořádný paprsek je polarizovaný v rovině kolmé na rovinu polarizace řádného paprsku.



Obrázek 2.2.1: Polarizace dvojlomem. (převzato z [11])

U těchto paprsků často dochází k fázovému posuvu, který je zapříčiněn různými rychlostmi paprsků. Různé rychlosti paprsků vyplývají z odlišných indexů lomu. Čím vyšší je míra deformace, tím větší je fázový posuv mezi jednotlivými vlněními. Na polarizační kameru je možno zachytit právě fázový posuv. Čím větší fázový posuv, tím výraznější vyobrazení na kameře. [1, 4]

Fázový rozdíl lze i vypočítat ze vztahu:

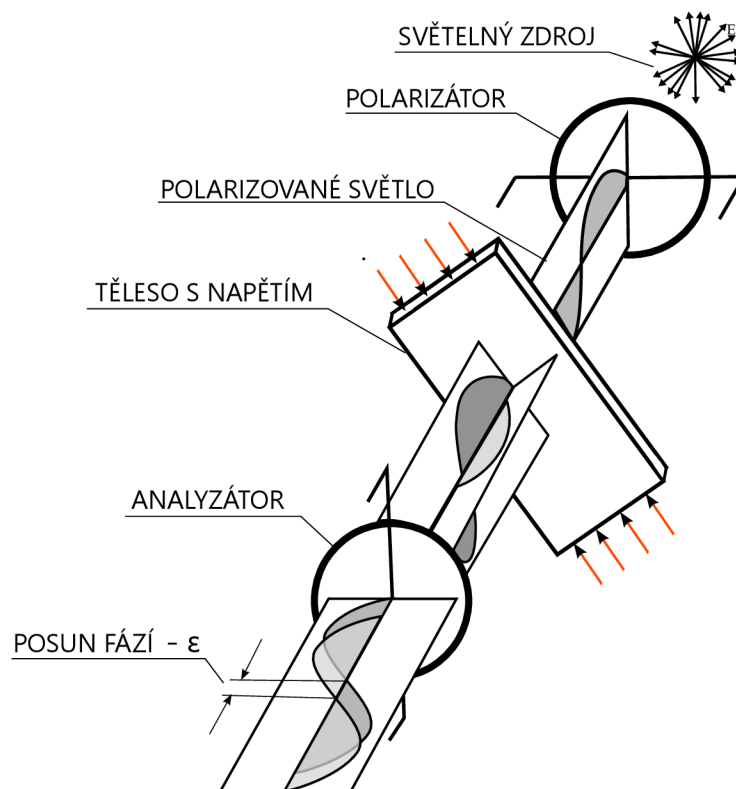
$$\Delta \varphi = \frac{2\pi \cdot \Delta n \cdot L}{\lambda_0} ,$$

kde Δn je rozdíl indexu lomu, L je délka destičky a λ_0 je vlnová délka paprsku ve vakuu.

2.3 Konstrukce polariskopu

Tento přístroj je složen z polarizačních filtrů, ty slouží k odstínění světla. Světlo se na prvním filtru polarizuje do jedné roviny vlnění, proto se prvnímu filtru říká polarizátor. Světlo kmitá v rovině kolmé k rovině polarizace. K polarizaci se nejčastěji využívá polarizace absorbcí.

Druhý filtr polarizuje ve směru kolmém na rovinu polarizace polarizátoru. Protože jsou polarizační destičky na sebe kolmé, žádné světlo skrz druhý filtr neprojde, proto je obraz tmavý. Druhý filtr se nazývá analyzátor.



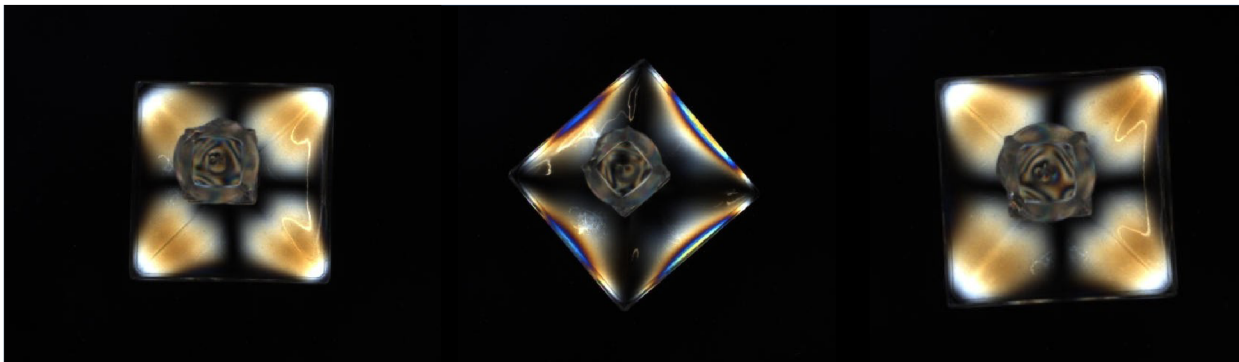
Obrázek 2.3.1: Princip polariskopu (převzato z [5])

Jakmile je umístěn objekt mezi polarizátor a analyzátor, začne jím procházet polarizované světlo. Polarizované světlo procházející místem, kde je ve skle napětí, se rozdělí na dva paprsky (viz. Kapitola 2.2). Mimořádný a řádný paprsek kmitají ve směru hlavního napětí a dále prochází materiálem. V analyzátoru dojde k usměrnění těchto paprsků do jedné polarizační roviny. Po tomto usměrnění bude možno v kameře zobrazit fázový posuv. Čím větší fázový posuv, tím výraznější barva na kameře.

Izochromaty jsou čáry, které spojují místa s konstatním napětím. Izochromaty se vyznačují stejnou barvou, tudíž lze na kameře rozpoznat místa se stejným napětím. Jedná se o místa se stejnou elipticitou nebo-li dvojlomem.

Černá místa jsou tzv. izokliny nebo také izogyry. Tato místa se vyznačují tím, že polarizované světlo neprojde analyzátozem, protože rovina polarizace daného světla je kolmá k rovině polarizace analyzátoru či je s ní rovnoběžná.

Izokliny a izochromaty vyobrazuje Obrázek 2.3.2, zde je vidět, že izokliny se při natočení nemění a izochromaty tvoří barevné mapy podle velikosti napětí.



Obrázek 2.3.2: Natočení hranolu o a) 0° b) 45° a c) 90° .

Při lineární polarizaci se izochromaty a izokliny překrývají, rozlišení těchto čar je velmi obtížné. Proto se u polariskopů často využívá kruhové polarizace. U kruhových polarizátorů nedochází ke vzniku izoklinných čar. To znamená, že izochromatické čáry nejsou ničím rušené. [5]

2.4 Manuální polariskop

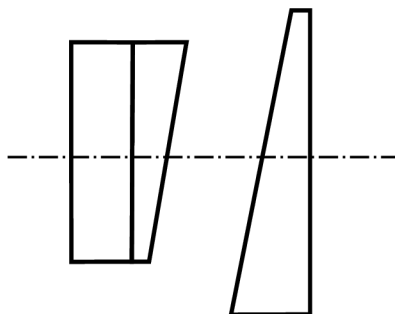
Nejvíce rozšířeným polariskopem je manuální polariskop. V této kapitule bude uvedeno, z jakých částí se manuální polariskop skládá a jak s takovým polariskopem pracovat. Největší nevýhodou manuálního polariskopu je absence kamery, tudíž se uživatel při hledání maximálního zbarvení musí spoléhat jen na vlastní zrak a na své zkušenosti, což nemusí vést k přesným výsledkům.



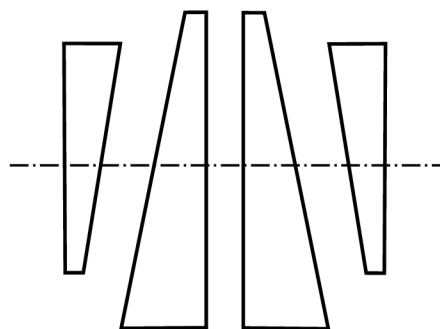
Obrázek 2.4.1: Polarimetr

Dalším manuálním polariskopem je polarimetr, oproti polariskopu je polarimetr vybaven kompenzátorem. Tudíž lze u polarimetru zjistit velikost napětí kvalitativně, protože lze změřit dráhový rozdíl. Nejrozšířenějším kompenzátorem je Sénarmontův kompenzátor. Bližší informace k tomuto kompenzátoru budou uvedeny v Kapitole 2.4.1.

Mezi další kompenzátory, které se používají, patří Soleilův kompenzátor či dvojitý klínový kompenzátor. Tyto kompenzátory jsou využívány u klínových polarimetrů, zde se využívá kruhové polarizace. Opticky aktivní látka, např. roztok sacharózy, vyvolá stáčivost. Klínové kompenzátory, které mají opačnou otáčivost, slouží k usměrnění této stáčivosti. Při použití dvojitého klínového kompenzátoru lze dosáhnout vyšší přesnosti měření. [6, 7]



Obrázek 2.4.2: Soleilův kompenzátor (převzato z [7])



Obrázek 2.4.3: Dvojitý klínový kompenzátor (převzato z [7])

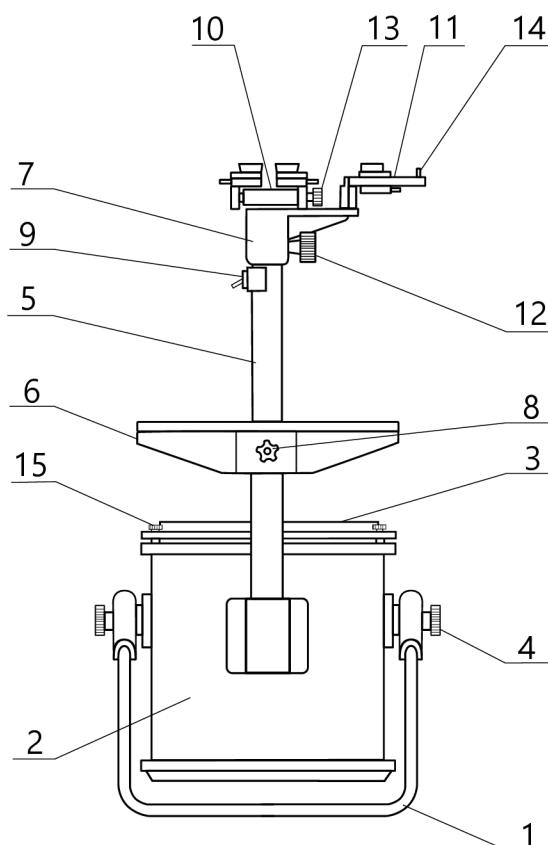
2.4.1 Části polarimetru

Manuální polariskop se skládá ze zdroje světla. Zdrojem světla jsou žárovky, které jsou však matné, aby došlo k rozptýlení světla do všech stran. Tyto žárovky jsou uloženy uvnitř válcového bubnu (2). Nad válcovým bubnem je umístěna polarizační mřížka (3), která polarizuje světlo do jedné roviny.

Na válcový buben navazuje nosná trubka (5), která slouží k připevnění dalších důležitých částí polariskopu. Mezi tyto části patří stolek na ukládání vzorku (6) a vrchní konzole (7). Stolek je k nosné trubce připevněn pomocí upínacích šroubů (8), díky těmto šroubům lze měnit polohu stolku. Dále je na nosné trubce vypínač (9), kterým se zapínají či vypínají žárovky.

Vrchní konzole nese binokulár (10) a Sénarmontův kompenzátor (11). Binokulár slouží jako analyzátor. Pro analyzování je potřeba polarizační mřížka, která se nachází v obou očnicích binokuláru. Protože má každý oči různě daleko, lze vzdálenost očnic upravit pomocí seřizovacího šroubu (13).

Protože binokulár a Sénarmontův kompenzátor pracují v různých polohách, musí být vrchní konzole otočná a to přesně o 45°. Zajišťovací šroub (12) slouží k tomu, aby vrchní konzole při měření držela v poloze, která je potřeba.



LEGENDA:

- 1 - TRUBKOVÝ STOJAN
- 2 - VÁLCOVÝ BUBEN
- 3 - POLARIZÁTOR
- 4 - MATICE
- 5 - NOSNÁ TRUBKA
- 6 - STOLEK NA VZOREK
- 7 - VRCHNÍ KONZOLE
- 8 - UPÍNACÍ ŠROUB
- 9 - VYPÍNAČ
- 10 - BINOKULÁR
- 11 - SÉNARMONTŮV KOMPEZÁTOR
- 12 - ZAJIŠŤOVACÍ ŠROUB
- 13 - SEŘIZOVACÍ ŠROUB
- 14 - OVLÁDACÍ TYČKA
- 15 - UPÍNACÍ ŠROUB

Obrázek 2.4.4: Manuální polariskop (převzato z Laboratorního cvičení 4)

2.5 Rešerše současného stavu poznání

Na současném trhu se vyskytuje velké množství polariskopů - od stolních až po automatizované. Tato kapitola se bude zabývat těmito zařízeními podrobněji.

Stolní polariskop je složen pouze z polizátoru a analyzátoru. Mezi těmito součástmi je prostor, který slouží k manipulaci se snímaným dílem. Avšak s dílem se manipuluje pouze ručně a obraz se objevuje jen v okuláru, nikoliv na displeji. Nelze tudíž určit přesnou velikost napětí, lze jen zjistit místo největšího napětí a odhadnout jeho velikost. Vše záleží na proškolení personálu.

Mezi stolní polariskopy patří také: Stolní polariskop GS-PS1, který se mimo jiné používá ve šperkařství k určování kvality cenných materiálů. Stolní polariskop GS-PS1 je vyobrazen na Obrázku 2.5.1 a). Dalším stolním polariskopem je model DK1008-B. [8, 9]



Obrázek 2.5.1: a) Stolní polariskop b) Automatický polariskop (převzato z [8, 14])

Mezi další zařízení, která jsou na trhu, patří automatické polariskopy. Automatické polariskopy mají v sobě zabudovanou kameru, která je schopna promítat obraz na monitor připojeného počítače. U těchto polariskopů stačí položit snímaný objekt na rotační podložku. Poté se zmáčkne tlačítko, kterým se spustí samotné snímání.

Zařízení FULLAUTO STRAINEYE LSM-9001NIR je automatický polariskop, který je schopen měřit tělesa o rozměrech 50x50 mm a výšce 160 mm. Zařízení je vyobrazeno na Obrázku 2.5.1 b). Software přepočítává fázový rozdíl na napětí, poté je schopen vygenerovat barevné mapy a grafy. [14]

3 Návrh a konstrukční řešení polariskopu

Praktická část práce se zaměřila na samotnou konstrukci zařízení. Před konstrukcí bylo potřeba vytvořit několik variant a poté z nich vybrat tu nejvhodnější variantu. V neposlední řadě bylo zapotřebí popsat jednotlivé části zařízení.

3.1 Specifikace měřeného objektu

V této kapitole je specifikovaný objekt, u kterého se budou hledat vady a napětí. Tento objekt je z transparentního skla, aby bylo možné ho prosvítit.

Rozměrová specifikace byla (po poradě s vedoucím práce) zaměřena na objekty válcového tvaru. Tento válec bude mít pro naše účely maximální průměr 300 mm a maximální výšku také 300 mm. Hustota skla je $2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Výpočet hmotnosti válcového bloku o daných rozměrech:

$$m = V \cdot \rho = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho = 3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 0,3 \cdot 2500 = 53,015 \text{ kg}$$

Z tohoto výpočtu vyplývá, že dané rozměry jsou jen rozměrové limity, aby nedošlo ke kolizi se zařízením. Nepředpokládá se, že se budou měřit plné válce o těchto rozměrech a to z hygienických limitů.

Hygienické limity pro zvedání břemen určuje § 28 až 30 § nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Tyto limity slouží k ochraně zdraví pracovníků. Ze zákona vyplývá, že muži mohou zvedat břemena o maximální váze 30 kg a při sedavé práci je tento limit snížen na 5 kg. U žen je tento limit 15 kg a v sedě 3 kg. [10]

Hmotnostní limit specifikovaného předmětu byl tedy stanoven na 15 kg, protože zařízení se bude obsluhovat ve stoje a budou ho obsluhovat jak muži, tak ženy.



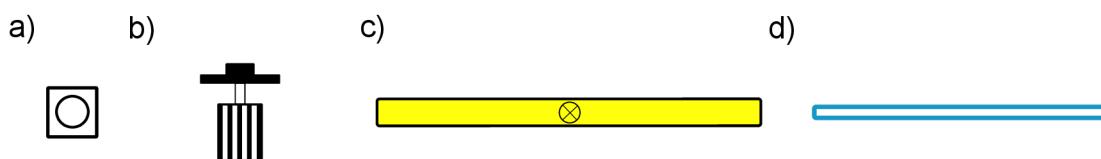
Obrázek 3.1.1: Příklady objektů určených ke snímání

Na Obrázku 3.1.1 jsou zobrazeny objekty, které by mohly být snímány pomocí polariskopu. Těchto objektů je nepřehledné množství, toto jsou jen zajímavé ukázky.

3.2 Návrh možných variant

Tato kapitola pojednává o možných variantách konstrukčního řešení přístroje. Z těchto variant byla následně vybrána varianta, která danou problematiku řeší nejefektivněji a splňuje definovaná kritéria.

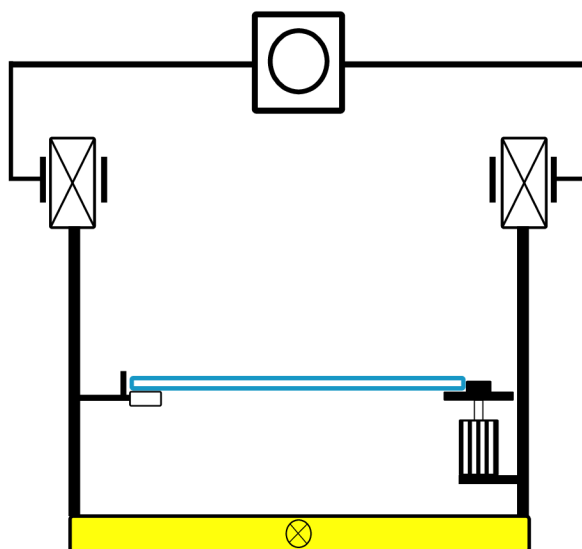
Všechny varianty pracují s užitím rotační skleněné desky, na kterou se bude ukládat snímáný objekt. Tato deska je na schématech zobrazená modrou barvou. Dále jsou na schématech zobrazeny žluté obdélníky, které zobrazují zdroj polarizovaného světla. Kamera na schématech je symbolizovaná jako kružnice uvnitř čtverce.



Obrázek 3.2.1: Schématické značky: a) kamera, b) krokový motor, c) zdroj polarizovaného světla, d) rotační deska

3.2.1 První konstrukční varianta

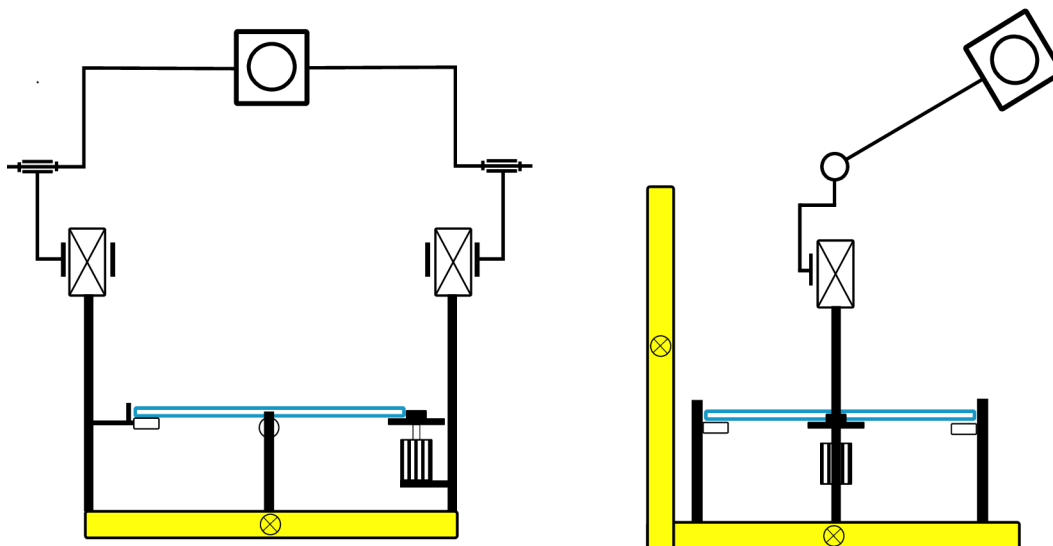
První varianta je konstrukčně nejjednodušší, skládá se pouze z jedné kamery, otočného podstavce a zdroje polarizovaného světla. Oproti normálnímu polariskopu nabízí možnost pootočení se zkoumaným předmětem, což vede ke zlepšení představy o napětí v materiálu. Avšak lze snímat předmět pouze shora, což snižuje použitelnost tohoto přístroje.



Obrázek 3.2.2: Schéma návrhu č.1

3.2.2 Druhá konstrukční varianta

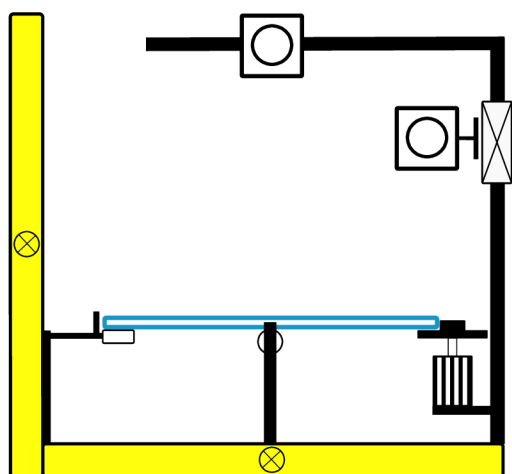
U druhého návrhu došlo k eliminaci problému se snímáním předmětu jen shora. Pomocí kloubu je nyní možné snímat předmět ve dvou rovinách, shora a ze strany. Tudiž lze získat lepší přehled o napětí ve snímaném předmětu. Návrh by se tedy skládal z jedné kamery a dvou zdrojů polarizovaného světla. Nevýhodou tohoto návrhu je, že kamera není provázána se zdrojem polarizovaného světla. U polariskopu roviny polarizace analyzátoru a polarizátoru musí být na sebe kolmé, u tohoto návrhu však nelze zaručit, že se tento stav nenaruší.



Obrázek 3.2.3: Schéma návrhu č.2

3.2.3 Třetí konstrukční varianta

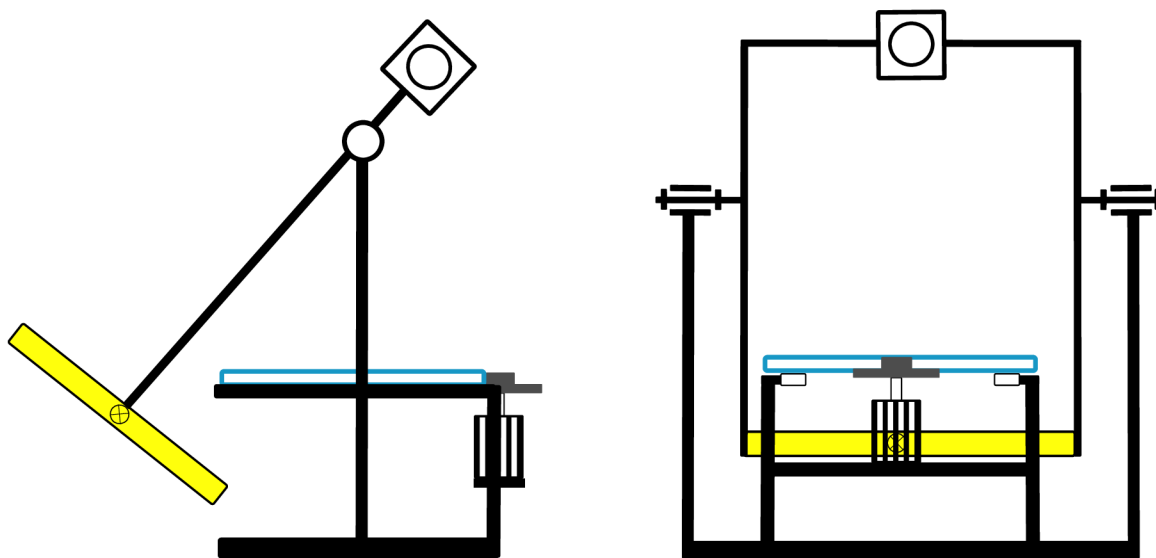
Třetí návrh umožňuje snímání ve dvou polohách s pevným upevněním kamer a zdrojů polarizovaného světla, tudíž by byl polarizátor vždy kolmý na analyzátor. Nevýhodou tohoto návrhu je vysoká pořizovací cena, protože tento návrh obsahuje dvě kamery a dva zdroje světla.



Obrázek 3.2.4: Schéma návrhu č.3

3.2.4 Čtvrtá konstrukční varianta

Poslední, čtvrtý návrh má jedno rameno, na kterém je jak kamera, tak zdroj světla. Tím by se mělo docílit dodržení správné polohy analyzátoru a polarizátoru. Toto rameno je kloubem připevněno k podstavě, takže je možné s ním otáčet kolem předmětu. Avšak není jisté zda bude možné snímat předmět ze všech úhlů. Je totiž možné, že se zde negativně projeví skleněná podložka a bude do snímání vnášet chybu. Ale ze dvou směrů jako u předchozích návrhů to bude jistě možné.



Obrázek 1: Schéma návrhu č.4

3.3 Výběr vhodné varianty dle kritérií

V této kapitole je vybrána varianta, která je v následujících kapitolách realizována. K výběru vhodné varianty byla zvolena rozhodovací analýza.

Prvním krokem bylo určení kritérií, podle kterých se bude rozhodovat o nejlepší variantě. Prvním kritériem je cena, do tohoto kritéria jsou zahrnuty náklady na pořízení konstrukčního materiálu, kamer, zářivek a ostatních věcí. Na toto kritérium je pohlíženo jen orientačně, cena není předem spočítána.

Dalším kritériem je možnost snímání napětí v materiálu z více směrů a úhlů. Do tohoto kritéria spadá i udržení správné pozice mezi analyzátořem a polarizátorem. Jak již bylo zmíněno, je nezbytně nutné, aby roviny polarizace analyzátořu a polarizátora byly na sebe kolmé.

Třetím kritériem je omezení v rozměrech snímaného objektu. Protože každá varianta je navržena jinak a má různé uspořádání, je potřeba sledovat prostor pro umístování zkoumaného objektu, ten se může u různých variant lišit.

Čtvrté kritérium je zaměřeno na uživatele. Uživatel je ten, kdo s přístrojem bude pracovat, a proto je zapotřebí, aby používání bylo intuitivní a jednoduché. Všechna kritéria jsou přehledně vypsána v Tabulce 1.

Tabulka 1: Výpis hodnotících kritérií

Číslo kritéria	Název Kritéria
1	cena (náklady)
2	flexibilita snímání
3	rozměrové omezení
4	intuitivní užívání

Druhým krokem bylo přiřazení pořadí jednotlivým kritériím. Každé kritérium má jinou prioritu. Pořadí jednotlivých kritérií je vypsáno v Tabulce 2. V každé buňce uvnitř tabulky dochází k porovnání dvou kritérií. Číslo kritéria, které je přednější, je napsáno do dané buňky. Poté se vyhodnotí celý řádek každého kritéria, vždy se spočítá počet buněk, jejichž číslo odpovídá číslu kritéria.

Tabulka 2: Porovnávací tabulka

Varianta	1	2	3	4	Pořadí
1 cena		2	3	1	3.
2 flexibilita snímání	2		2	2	1.
3 rozměr. omezenost	3	2		3	2.
4 intuitivnost	1	2	3		4.

Z Tabulky 2 vyplývá, že pořadí jednotlivých kritérií je následující: flexibilita snímání, rozměrové omezení, cena a jednoduchost užívání.

Rozhodovací analýza slouží k určení nejvhodnější varianty dle výše uvedených kritérií. V této práci byla použita Saatyho metoda tj. metoda párového srovnání.

Třetím krokem bylo přidělení váhy ke každému kritériu tj. kolikrát bude dané kritérium započítáno. Váha je odvozena z pořadí významnosti Každé kritérium bude hodnoceno na škále od 0 – 10 bodů. Tyto body se zapíší do sloupců označených p.h. (původní hodnota), poté budou přenásobeny váhou a zapsány do sloupců v.h. (vážená hodnota).

Ve sloupci označeném X je příklad s maximálním počtem bodů. Když se provede suma ve sloupci v.h. zjistí se, že celkem lze získat 100 bodů. Z tohoto faktu plyne, že ostatní sumy sloupců jsou procentuální vyjádření. Všechny hodnoty pro jednotlivé varianty a kritéria jsou uvedeny v Tabulce 3.

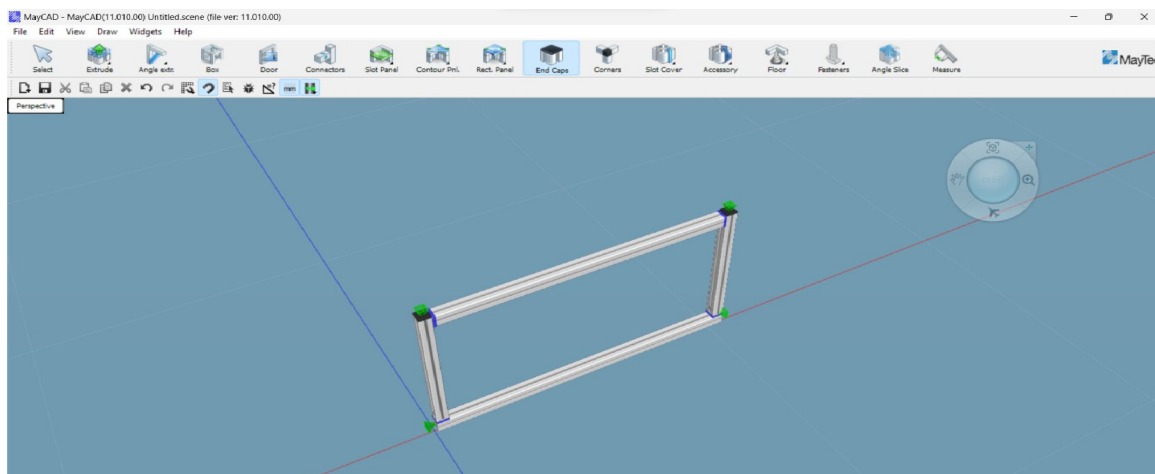
Rozhodovací analýza													
Párové srovnávací kritérium				Matice užítivosti alternativ									
Číslo kritéria	Název kritéria	Pořadí významnosti	Váha	X		1		2		3		4	
				p.h.	v.h.	p.h.	v.h.	p.h.	v.h.	p.h.	v.h.	p.h.	v.h.
1	Cena	3	2	10	20	10	20	6	12	2	4	8	16
2	Flexibilita snímání	1	4	10	40	1	4	5	20	5	20	10	40
3	Rozměrové omezení snímaného předmětu	2	3	10	30	8	24	10	30	8	24	7	21
4	Jednoduchost užívání	4	1	10	10	10	10	6	6	4	4	8	8
Celkem:					100		58		68		52		85
Pořadí alternativ:					-		3		2		4		1

Tabulka 3: Rozhodovací analýza

Z Tabulky 3 vyplývá, že nejvhodnější variantou je varianta č. 4. Tato varianta bude v praktické části zpracována. Určitě dojde k drobným změnám v konstrukci. Avšak hlavní specifikace návrhu budou zachovány. Mezi tyto specifikace patří rotační vazba mezi stojanem a rámem. Dále sem patří to, že rám ponese kameru a zdroj světla.

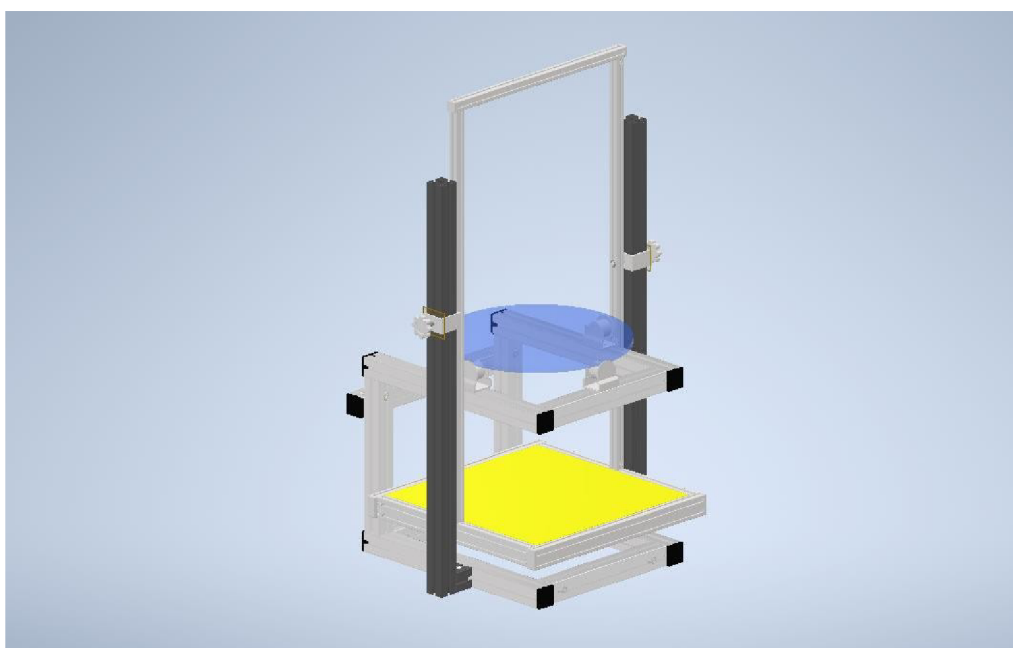
3.4 Konstrukční provedení vybrané varianty

Bylo určeno, že konstrukce bude vyrobena z hliníkových profilů značky MayTec. Pro tvorbu 3D modelů byl využit program MayCad, ve kterém byly vygenerovány všechny konstrukční díly. Mezi konstrukční díly se počítají hliníkové profily, spojovací materiál, klouby či posuvné lišty. Následně byl 3D model doupřaven v Inventoru od společnosti AutoDesk. V Inventoru se dokreslovaly díly, které nejsou typizované od společnosti MayTec např. světelná deska, dorazy aj. Na Obrázku 3.4.1 je zobrazeno pracovní prostředí aplikace MayCad.



Obrázek 3.4.1: Aplikační prostředí MayCad

První prototyp konstrukce velmi korespondoval s vybranou variantou. Avšak došlo se k závěru, že tato konstrukce má několik chyb. Mezi hlavní nevýhody patří nemožnost snímat objekt ze všech stran. K dalším nedostatkům patří nevydařené upnutí otočného rámu k stojanu. Kvůli těmto nedostatkům se od tohoto prototypu odstoupilo. Model konstrukce je vyobrazena na Obrázku 3.4.2.



Obrázek 3.4.2: Model 1. prototypu

V této konstrukci byly použity rolny od MayTecu, jako nosiče pro otočnou podložku. Byly použity tři, které byly rozmístěny po 90° a na čtvrté pozici bude motor s kolečkem. Tento počet opěrných bodů byl zvolen kvůli stabilitě snímaného objektu a za druhé kvůli konstrukčnímu uspořádání. Rotační rám byl uchycen k podstavě pomocí posuvné objímky s ložiskem. Poněvadž na vyhotovení rámu byl použit profil 20x20, tak ložisko bylo velmi malé a hrozilo, že stojan neunesse světelnou desku, kde se počítá s 4cm deskou skla.

Proto pro další konstrukce rámu budou použity hliníkové profily o rozměrech 40x40, které by měly mít větší nosnost. Budou také zajišťovat větší stabilitu. Druhý model je vyobrazen na Obrázku 3.4.3.

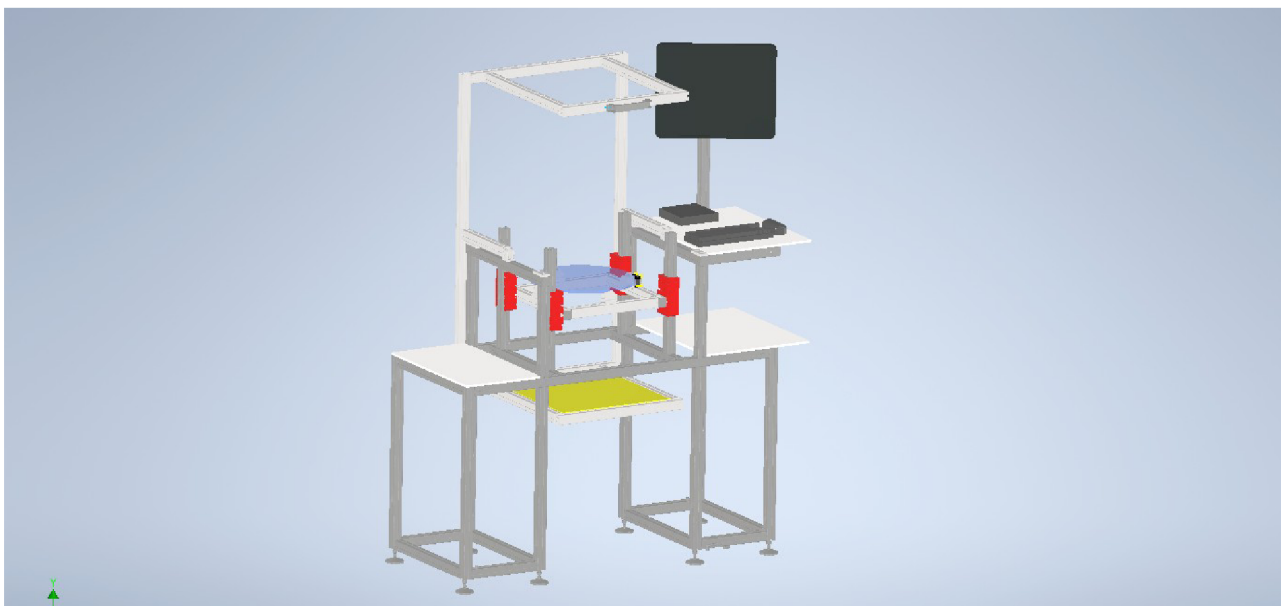
V druhém prototypu se vyřešil problém se snímáním a to změnou konstrukce rámu. Ve druhé konstrukci je otočný rám ve tvaru E a tím pádem umožňuje natočení o 180° kolem své osy. Zde se však vyskytuje jiný problém a to takový, že při natočení se posune osa kamery mimo střed snímaného objektu. Nebo by se také u nízkých předmětů mohlo stát, že by předmět z boku nebyl vůbec zaznamenaný a nebo by byla data velmi zkreslená. Tento nedostatek by šel vyřešit posuvem rámu či objektu.



Obrázek 3.4.3 Model 2. prototypu

U této konstrukce chybí odkládací prostor a prostor pro umístění počítače s obrazovkou. Obrazovka bude nedílnou součástí konstrukce, protože bude potřeba vizualizovat snímaný objekt a hledat tak maximální napětí.

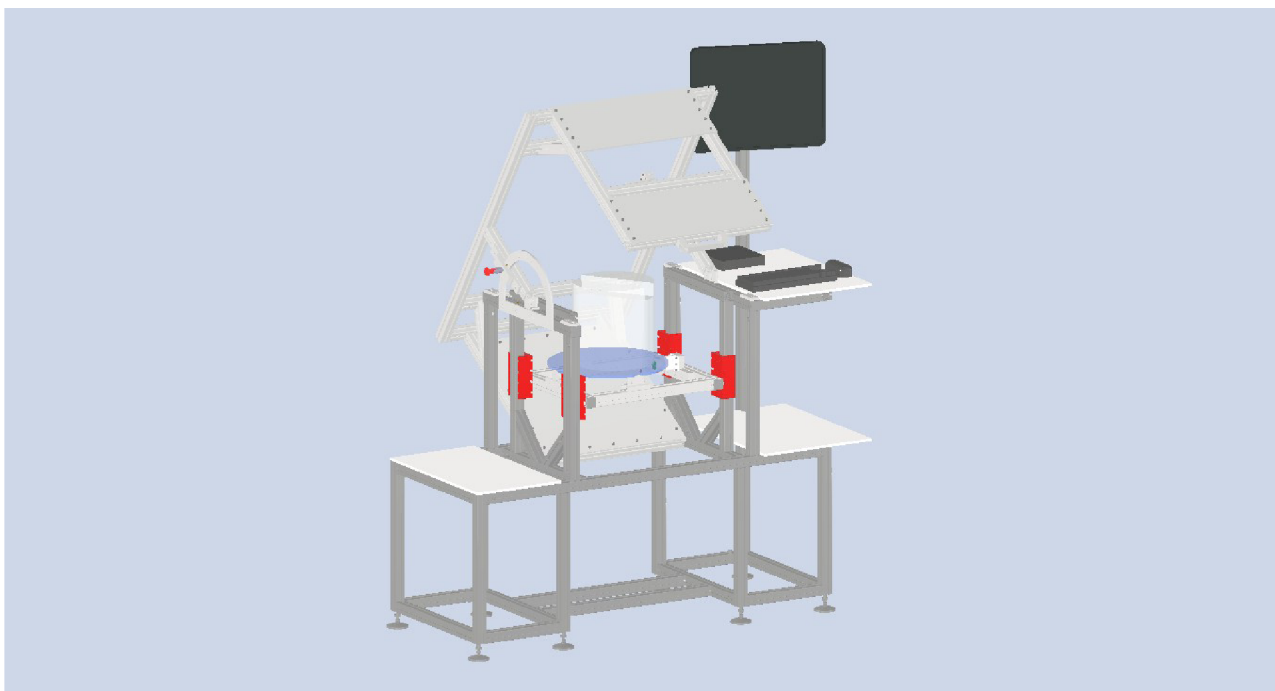
Problém s osou snímání objektu se vyřešil vertikální posuvnou vazbou pro objekt. Ta je reprezentována na Obrázku 3.4.4 červenými posuvnými lištami, které jsou také od společnosti MayTec.



Obrázek 3.4.4 Model 3. prototypu

Třetí prototyp měl jednu velkou vadu a to, že při snímání objektů konstrukce stojanu překážela snímání objektu a nešlo by tak pečlivě nasnímat celý objekt. Avšak přináší možnost odkladného prostoru pro snímání objektů či dokumenty. Také vznikl prostor pro umístění počítače a monitoru.

Finální verzi je prototyp vyobrazený na Obrázku 3.4.5



Obrázek 3.4.5: Finální model

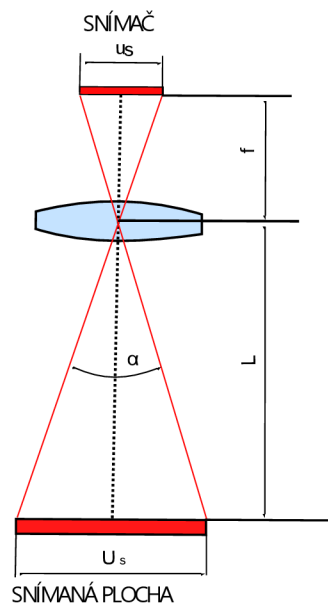
3.5 Specifikace dílů

V této kapitole jsou určeny komponenty, které byly použity v návrhu konstrukce. Mezi tyto díly patří především kamera s objektivem, polarizační filtr a krokový motor.

3.5.1 Kamera a objektiv

Kamera, která bude použita na konstrukci, je od výrobce Basler AG. Tato společnost pocházející z Německa vyrábí elektrotechniku spojenou se snímáním obrazu tj. kamery, objektivy, osvětlení aj.

V konstrukci bude použit typ kamery Basler ace-acA2440-75um. Tyto kamery využívají senzor IMX250. Jedná se o 2/3 čip. Velikost tohoto čipu je $u_s = 7,2 \text{ mm}$.



Obrázek 3.5.1: Schéma pro výpočet ohniskové vzdálenosti objektivu (převzato z [12])

Uvedené údaje byly použity pro výpočet ohniskové vzdálenosti. Z Obrázku 3.5.1 lze vydedukovat, že ohnisková vzdálenost se vypočítá přes podobnost trojúhelníků či přes úhel α .

$$\begin{aligned} L &= 540 \text{ mm}; U_s = 300 \text{ mm}; u_s = 7,2 \text{ mm}; f = ? \text{ mm} \\ \alpha &= 2 \cdot \arctg\left(\frac{U_s}{2 \cdot L}\right) = 2 \cdot \arctg\left(\frac{u_s}{2 \cdot f}\right) \Rightarrow \frac{U_s}{L} = \frac{u_s}{f} \\ f &= \frac{L \cdot u_s}{U_s} = \frac{540 \cdot 7,2}{300} = 12,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ohnisková vzdálenost vyšla $f = 12,96 \text{ mm}$. Nejbližší objektiv pro vypočtenou ohniskovou vzdálenost je se vzdáleností $12,5 \text{ mm}$.

3.5.2 Podkladové sklo

Na podkladové sklo budou vkládány snímané předměty. Toto sklo je určeno k pootáčení s těmito předměty. Tato komponenta bude vyrobena z pomalu a dobře vychlazeného skla. Důvodem, proč se použije toto sklo, je to, aby sklo neneslo v sobě vnitřní napětí a nezkreslovalo tak naměřené výsledky.

Podkladové sklo má kruhový tvar o poloměru 220 mm, protože snímaný objekt může mít až 150 mm a je nutné vytvořit prostor pro manipulaci. Tloušťka byla zvolena 10 mm s ohledem na váhu snímaného tělesa.

$$r = 220 \text{ mm}; h = 10 \text{ mm}; \rho = 2500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

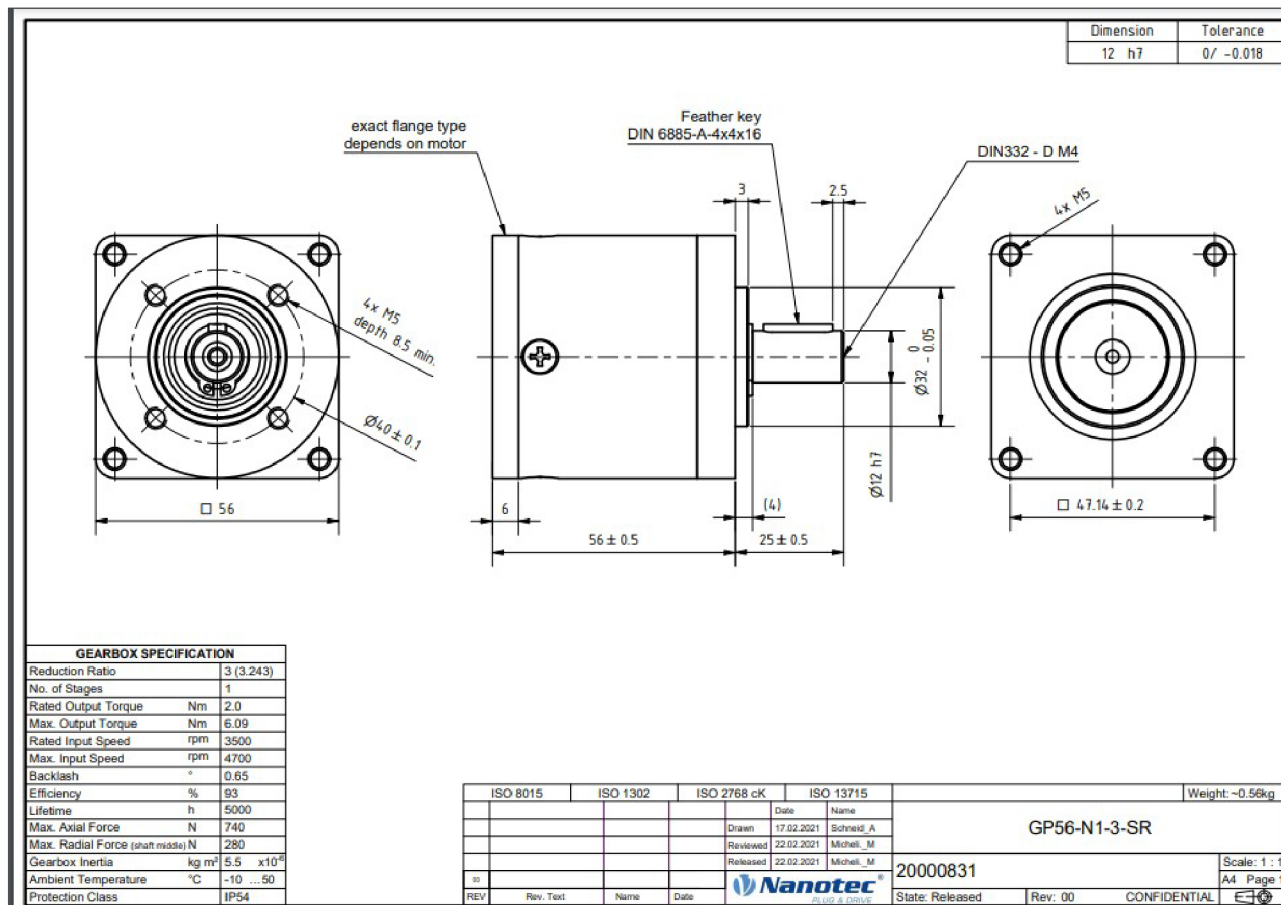
$$m = V \cdot \rho = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho = \pi \cdot 0,22^2 \cdot 0,01 \cdot 2500 = 3,80 \text{ kg}$$

Z výpočtu vyplývá, že váha podkladového skla je 3,8 kg .

3.5.3 Krokový motor

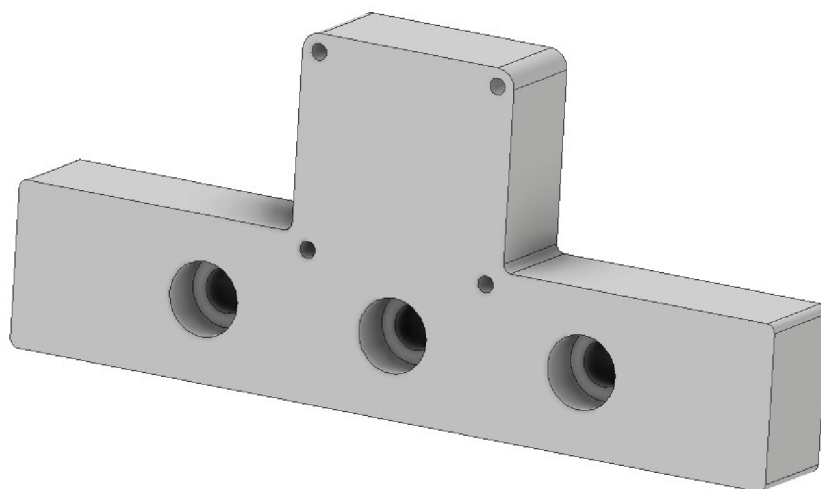
Krokový motor slouží k rotaci se snímaným předmětem skrze podkladové sklo. Vazba mezi motorem a sklem je třecí. Nosnost hřídele je v tomto případě velmi směrodatná a zásadně toto kritérium ovlivnilo výběr typu motoru.

Motor od společnosti Nanotec typu GP56-N1-3-SR má možné radiální zatížení hřídele v radiálním směru 280 N, což plyne z výkresu motoru, který je na Obrázku 3.5.2.



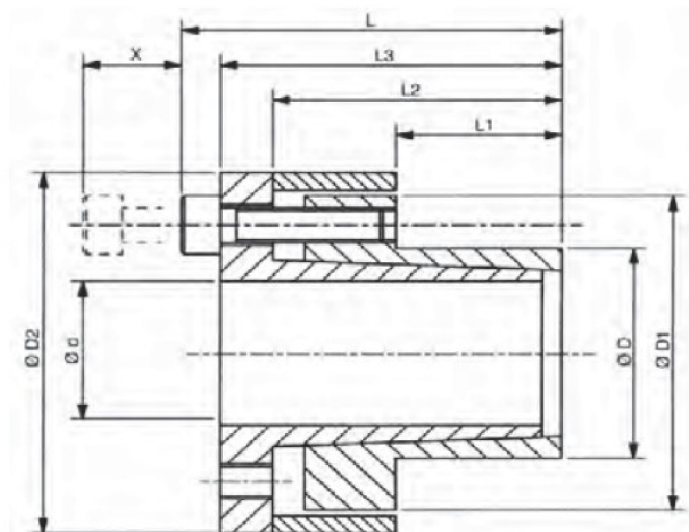
Obrázek 3.5.2: Výkres krokového motoru

Kvůli válcovému tělu motoru nelze bezprostředně připevnit motor na rám. Krokový motor je upevněn k rámu pomocí podložky, která bude vyrobena z 25 mm tlusté ploché oceli. Samotný motor je k podložce připevněn pomocí čtyř šroubů M5x20.



Obrázek 3.5.3: Podložka pro uchycení motoru

Dále bude zapotřebí propojit motor s kolečkem, které ponese skleněnou desku. Toto spojení se provede pomocí svěrného pouzdra RCK80 12x18.

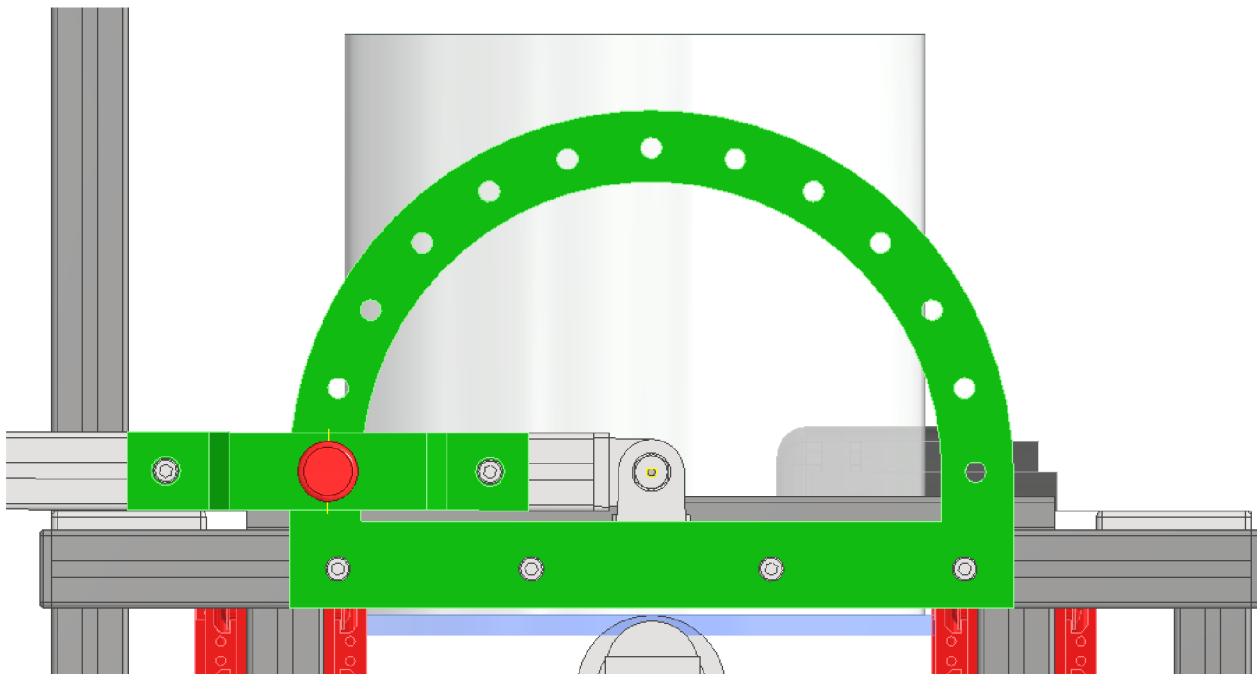


Obrázek 3.5.4: Svěrné pouzdro

K ovládní motoru se ve variantě on-line ručního měření používá nožní pedálový spínač. V této variantě funguje tak, že obsluha zařízení si předmět pootáčí sama podle potřeby. V další variantě automatické detekce napětí bude rotační pohyb ovládn automaticky. Zde bude nutné hardwarově a softwarově propojit počítač, kameru a motor. Celek bude naprogramován tak, že motor pootáčí předmětem, kamera jej automaticky vyfotí, což se bude opakovat dokud nebude nafocený celý objekt.

3.5.4 Aretační ústrojí

Část zařízení sloužící k polohování rámu s kamerou se nazývá aretační ústrojí. Skládá se ze tří komponent: úhloměru, jistícího kolíku a držáku pro jistící kolík. Úhloměr bude půlkruhového tvaru s dírami po 15°, díry budou sloužit jako otvor pro jistící kolík. Umístění úhloměru je na stojanu nesoucím rám. Jistící kolík bude upevněn přímo k rámu pomocí držáku, který bude vyroben z ploché oceli. Vše je vyobrazeno na Obrázku 3.5.5.

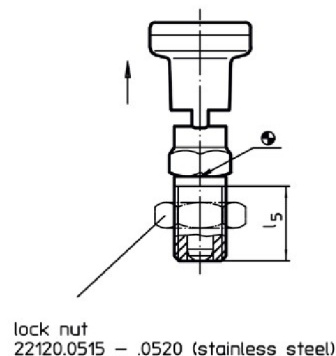
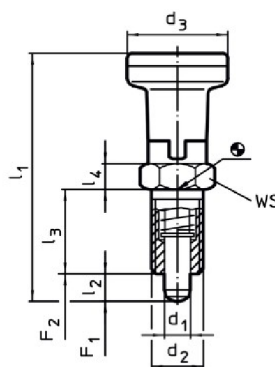


Obrázek 3.5.5: Aretační ústrojí

Jistící kolík je od společnosti Halder a je typu Index Plunger. Celá specifikace kolíku, který bude použit v sestavě, je na Obrázku 3.5.6. Ze specifikace lze vyčíst, že do držáku bude potřeba vyříznout závit M20x1,5.



stainless steel
 d_1 -0.02 -0.04: 10 mm
 d_2 : M20 x 1,5 mm
 d_3 : 31 mm
 l_1 : ~ 91 mm
 l_2 min.: 10 mm
 l_3 : 33 mm
 l_4 : 10 mm
 l_5 min.: 30 mm
 WS: 22 mm
 Spring load¹⁾ F_1 : ~ 28 N
 Spring load¹⁾ F_2 : ~ 54 N
 Operating temperature range max.: 250 °C
 Weight: 203 g

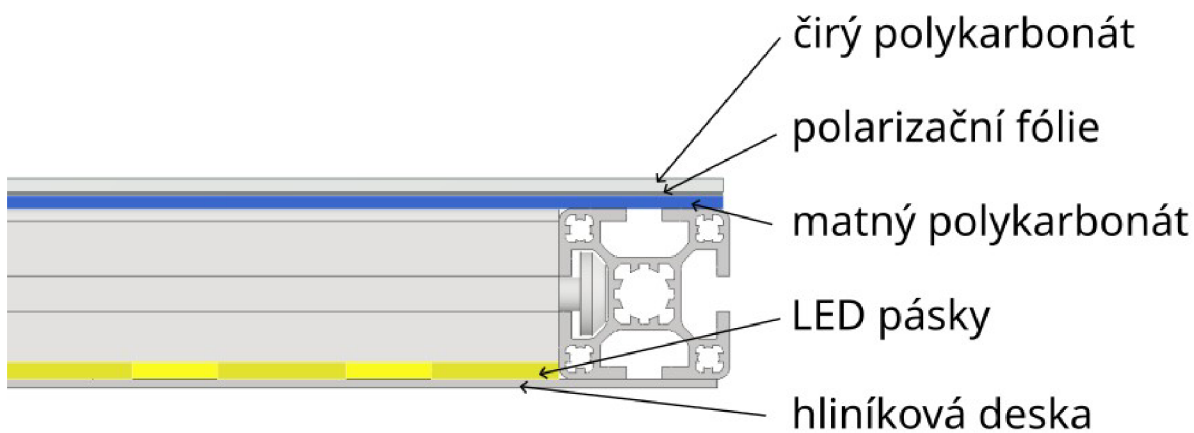


Obrázek 3.5.6: Jistící kolík (převzato z [13])

3.5.5 Polarizační světelná deska

Světelná deska je složena z několika vrstev. První vrstvou je hliníková deska. Ta slouží jako nosná část pro LED světla a je z hliníku kvůli odvodu tepla z LED, aby zabránila eventuálnímu přehřátí.

Poté jsou LED pásy, které jsou zdrojem nepolarizovaného bílého světla. Matná polykarbonátová deska slouží k rozptýlení nepolarizovaného světla do všech stran. Na matnou desku navazuje samotná polarizační fólie, jedná se o polarizátor. Nejvýše je čirá polykarbonátová deska, která přikrývá polarizační fólii, aby se nedeformovala a zároveň, aby se nepoškodila. Polykarbonátové desky se používají kvůli své váze, avšak bude zapotřebí otestovat zda nevnášejí do měření napětí, které mohou mít v sobě. Pokud by napětí do měření vnášely, musely by být vyměněny za skleněné desky. Všechny vrstvy jsou znázorněné na Obrázku 3.5.7.



Obrázek 3.5.7: Vrstvy světelné desky

Dále je potřeba vytvořit proti závaží na druhou stranu rámu, k tomu bude potřeba vypočítat hmotnost všech vrstev.

$$\text{hliníková deska : } S = 0,36 \text{ m}^2 ; t = 0,002 \text{ m} ; \rho_{Al} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{Al} = S \cdot t \cdot \rho_{Al} = 0,36 \cdot 0,002 \cdot 2700 = 1,944 \text{ kg}$$

$$\text{polykarbonátová deska : } S = 0,3518 \text{ m}^2 ; t = 0,003 \text{ m} ; \rho_{PC} = 1200 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{PC} = S \cdot t \cdot \rho_{PC} = 0,3518 \cdot 0,003 \cdot 1200 = 1,266 \text{ kg}$$

$$m_{\text{celková}} = m_{Al} + 2m_{PC} = 1,944 + 2 \cdot 1,266 = 4,476 \text{ kg}$$

Hmotnost LED pásků je zanedbána stejně jako hmotnost fólie. Protizávaží bude zhotoveno ze dvou hliníkových desek o tloušťce 6 mm. Tyto desky budou dlouhé 600 mm. Je zapotřebí zjistit šířku těchto desek.

$$\text{protizávaží : } t = 0,06 \text{ m} ; a = 0,6 \text{ m} ; \rho_{Al} = 2700 \text{ kg/m}^3 ; m = 4,476 \text{ kg}$$

$$b = \frac{m}{2 \cdot t \cdot a \cdot \rho_{Al}} = \frac{4,476}{2 \cdot 0,06 \cdot 0,6 \cdot 2700} = 0,023 \text{ m} = 23 \text{ mm}$$

Každá z desek bude mít šířku 23 mm.

3.5.6 Funkce polarizačního přístroje pro automatickou detekci napětí ve výrobcích ze skla

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření „hardware zařízení“, S ohledem na program studia nebyla řešena problematika software pro automatickou detekci napětí ve výrobcích ze skla.

Zařízení bude po instalaci potřebného softwaru fungovat v tomto režimu:

1. Uložení objektu ze skla na střed otočného stolu.
2. Nastavení ramene polarizační desky a kamery do předepsané polohy (poloha stanovaná na základě předchozích zkušeností).
3. Spuštění automatické analýzy. Vzorek se bude otáčet na poháněném stolku a kamera provede dané snímkování v dané poloze vzorku.
4. Vyhodnocení nejvyšších hodnot a jejich grafické zobrazení na displeji.
5. Pokud bude třeba, pak dojde k přenastavení ramene polarizační desky a kamery do druhé předepsané polohy a dojde k vyhodnocení. To lze opakovat pro další polohy

Řešení softwaru nebude jednoduché, protože o napětí rozhoduje i tloušťka materiálu. Ideální by byla implementace CAD modelu objektu do vyhodnocovacího softwaru.

Zařízení umožňuje pracovat i v on-line manuálním režimu, kdy otočný stolek bude ovládán přes pedálový ovladač nohou a rameno polarizační desky a kamery lze volně otáčet. Na obrazovce se pak objeví on-line snímek s daným zabarvením, které odpovídá napětí.

4 Závěr

V této kapitole je provedeno zhodnocení zkonstruovaného zařízení jak po technické stránce, tak po stránce ekonomické. Dále budou probrány jeho výhody a nevýhody.

4.1 Ekonomické zhodnocení

V této kapitole jsou uvedeny ceny všech komponent a výsledná částka za celou konstrukci. Zjistit cenu materiálu tj. kolik by stály hliníkové profily a spojovací materiál, není složité z 3D modelu se odečte kolik je potřeba materiálu a poté se zjistí cena za metr či za kus. Jenže taková metoda nezahrnuje lidskou práci. Z tohoto důvodu byla poptána společnost zabývající se výrobou konstrukcí z profilů MayTec, aby vytvořila cenovou nabídku. Z cenové nabídky vyplývá, že celá konstrukce včetně práce vyjde na 48 655,- Kč.

Dále je potřeba zohlednit ostatní komponenty jako je kamera, motor, objektiv, ale i doprovodné komponenty jako monitor, klávesnice aj. Všechny tyto ceny jsou vypsané v Tabulce 4.

Tabulka 4: Cena dílů

Položka	Jedna položka	Počet položek	Všechny položky
konstrukce MayTec	48 655 Kč/ks	1 ks	48 655 Kč
kamera	31 000 Kč/ks	1 ks	31 000 Kč
objektiv	1 850 Kč/ks	1 ks	1 850 Kč
svěrné pouzdro	197 Kč/ks	1 ks	197 Kč
motor	2 600 Kč/ks	1 ks	2 600 Kč
jistící kolík	999 Kč/ks	1 ks	999 Kč
počítač	15 000 Kč/ks	1 ks	15 000 Kč
monitor	4 000 Kč/ks	1 ks	4 000 Kč
klávesnice	200 Kč/ks	1 ks	200 Kč
myš	90 Kč/ks	1 ks	90 Kč
pedálový spínač	195 Kč/ks	1 ks	195 Kč
hliníková deska 2 mm	665 Kč/m ²	0,36 m ²	239 Kč
hliníková deska 6 mm	2 505 Kč/m ²	0,28 m ²	691 Kč
polykarbonát 3mm	420 Kč/ks	2 ks	840 Kč
polarizační fólie 630x600	3,5 Kč/mm	600 mm	2 100 Kč
dřevěné desky na stolky	600 Kč/m ²	0,78 m ²	468 Kč
vychlazené kruhové sklo	2 500 Kč/ks	1 ks	2 500 Kč
rezerva na materiál			1 500 Kč

Celkové náklady na materiál: 113 125 Kč

Polarizační fólie se prodává v metráži o šířce 630 mm. Cena za jeden cm je 35,-Kč. V konstrukci je použita fólie o rozměrech 600x600 mm, cena polarizační fólie je tedy 2 100,-Kč. Plexisklo se prodává po deskách o rozměrech 1 000x1 000 mm, takové desky budou potřeba dvě. Jedna deska vyjde na 420,- Kč.

Celková cena materiálu je 113 125,-Kč, tato cena zahrnuje všechny nezbytné položky konstrukce, ale také i finanční rezervu na nezahrnutý spojovací materiál.

Dále je potřeba do ceny zahrnout mzdové náklady, ty jsou uvedeny v Tabulce 5. Po zahrnutí režijních nákladů, jsou mzdové náklady rovny 164 375,- Kč.

Tabulka 5: Mzdové náklady

Úkon	Hodinová sazba	Počet hodin	Celkové náklady
montáž a zprovoznění	350 Kč/hod	50 hod	17 500 Kč
výroba nestandardizovaných dílů	350 Kč/hod	40 hod	14 000 Kč
vývoj, návrh, konstrukce	500 Kč/hod	200 hod	100 000 Kč

Náklady na práci:	131 500 Kč
Režijní náklady:	25%
Celkové náklady na práci	164 375 Kč

Celková cena konstrukce, zahrnující náklady na materiál i mzdové náklady, dosáhne částky 277 500,-Kč.

4.2 Přínosy navrženého řešení

Zařízení zkonstruované v této práci je schopno oproti komerčním zařízením dostupným na trhu snímat předměty o větších rozměrech. Předměty mohou mít průměr až 300 mm a mohou vážit až 15 kg. Zároveň umožňuje snímat napětí ze všech stran a dokonce se snímaným předmětem pootáčet. Další výhodou je, že rychle zobrazí velikost napětí na monitoru. To probíhá pomocí barevných map.

V tuto chvíli je zapotřebí proškolený personál pro ovládání tohoto zařízení. Do budoucna by bylo vhodné vytvořit software, který by dokázal vyhodnotit velikost maximálního napětí a lokalizovat ho. Takový software však není náplní této práce.

5 Použitá literatura

- [1] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika*. B.m.: VUTIUM, 2013. ISBN 978-80-214-4123-1.
- [2] RICHTER, MUDr Jan a Miroslava CIHLÁŘOVÁ. VYUŽITÍ PRINCIPU POLARIZACE V PRAKTICKÉM ŽIVOTĚ. nedatováno.
- [3] MORÁVKOVÁ, Iva. Měření polarizace světla ve školní laboratoři. nedatováno.
- [4] HOTAŘ, Vlastimil, Vladimír KLEBSA a Ivo MATOUŠEK. *Technologie automatické výroby skla*. Vydání 1. V Liberci: Technická univerzita, 2015. ISBN 978-80-7494-237-2.
- [5] MACURA, Ing Pavel a Ing František FOJTÍK. EXPERIMENTÁLNÍ METODY V MECHANICE. nedatováno.
- [6] ROŠKA, Radim. *Technologie výroby skla 2. Modernizace výuky nově zřízeného ateliéru Designu skla. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně*. 2012.
- [7] FORÝTKOVÁ, MUDr Lenka a CSc Bc Martina KULKOVÁ. Polarimetr-principy měření a ověření validity výsledků. nedatováno.
- [8] BANGGOOD.COM. Stolní polariskop GS-PS1 Vestavěný LED Gemstone 2 Skleněný filtr Drahokam Klenotník Tester klenotníků a lupa. www.banggood.com [online]. [vid. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://www.banggood.com/cs/GS-PS1-Desktop-Polariscope-Built-in-LED-Gemstone-2-Glass-Filter-Gem-Jewel-Jeweller-Tester-Tool-Loupes-and-Magnifier-p-1549629.html>
- [9] DK91008-B LED Table Polariscope. *undefined* [online]. [vid. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://www.gemtrue.com/products/dk91008-b-led-table-polariscope>
- [10] *Hygienické limity aneb kolik toho můžete uzvednout v práci* [online]. [vid. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/525215-manipulace-s-bremenem-v-praci/>
- [11] *Vysvětlení principu šíření světla optickými vlákny* [online]. [vid. 2022-11-02]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/185/04.html>
- [12] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění. *Část 1 Základní principy a*. 2015.
- [13] KG, Erwin Halder. Index Plungers with hexagon collar and locking, stainless steel - EH 22120. *Halder* [online]. [vid. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.halder.com/PM/Standard-Parts/Machine-and-Fixture-Elements/Index-Plungers-Index-Bolts/Index-Plungers-with-hexagon-collar-and-locking-stainless-steel>
- [14] FULLAUTO STRAIN EYE LSM-9001NIR | Luceo Co., Ltd. [online]. 27. prosinec 2022 [vid. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://luceo.co.jp/en/technical/fullauto-straineye-lsm-9001nir/>

6 Seznam výkresové dokumentace

2-BP S20000127-0-0	POLARISKOP
2-BP S20000127-1-0	PODSESTAVA RÁM
2-BP S20000127-2-0	PODSESTAVA STOJAN
3-BP S20000127-3-0	PODSESTAVA DESKA
4-BP S20000127-0-4	ÚHLOMĚR
4-BP S20000127-0-5	DRŽÁK JISTÍCÍHO KOLÍKU
4-BP S20000127-2-12	ZARÁŽKA
4-BP S20000127-1-15	DRŽÁK KAMERY
3-BP S20000127-3-11-0	PODSESTAVA MOTOR
4-BP S20000127-3-11-2	KOLEČKO NA HŘÍDEL
4-BP S20000127-3-11-5	DRŽÁK MOTORU